**М. М. Пугачёв**
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)
Науч. рук. **Г. Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВИДИМОЙ ЗВЁЗДНОЙ ВЕЛИЧИНЫ КОМЕТЫ C/2024 G3 (ATLAS)

Блеском в астрономии называют мощность излучения небесного тела, приходящуюся на единицу площади детектора. Звёздная величина – это характеристика видимого блеска, связанная с ним формулой Погсона [1]:

$$m_1 - m_2 = 2,5\lg\frac{E_2}{E_1}$$

Блеск кометы определяется следующим образом [2]:

$$E = E_0 r^{-n}\Delta^{-2}$$

где $E_0$ – блеск кометы, расположенной на расстоянии 1 а. е. от Солнца и наблюдаемой с расстояния 1 а. е.;

$r$ – расстояние от кометы до Солнца;

$\Delta$ – расстояние от кометы до наблюдателя (все расстояния выражены в а. е., наблюдатель в данном случае находится на Земле);

$n$ – параметр, характеризующий быстроту изменения блеска с изменением.

Логарифмируя это уравнение, получим:

$$m = H + 2,5n\lg r + 5\lg\Delta, \tag{1}$$

где $m$ – видимая звёздная величина кометы;

$H$ – её абсолютная величина, т. е. соответствующая значению блеска $E_0$.

Введем замену переменной: $m_1 = m - 5\lg\Delta$ (что соответствует видимой величине кометы, наблюдаемой с расстояния 1 а.е.). Уравнение примет следующий вид:

$$m_1 = H + 2,5n\lg r. \tag{2}$$

Очевидно, что $m_1$ линейно зависит от $\lg r$. Величины $H$ и $n$ нам неизвестны, но их можно определить при условии, что известна $m_1$, а для этого нужно для любого заданного момента времени определить значения $r$ и $\Delta$.

Поскольку орбита кометы очень близка к параболической [3], для определения $r$ мы вправе использовать уравнение Баркера [4]:

$$M = \mathrm{tg}\frac{\vartheta}{2} + \frac{1}{3}\mathrm{tg}^3\frac{\vartheta}{2}, \tag{3}$$

где $M = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{2q^3}}(t - t_0)$ – средняя аномалия кометы;

$M_{\odot}$ – масса Солнца;

$q$ – перигелийное расстояние кометы;

$t_0$ – момент времени, в который комета проходила перигелий;

$\vartheta$ – истинная аномалия кометы.

Данное уравнение является кубическим и имеет аналитическое решение. По смыслу задачи нам подходит только действительный корень, который можно записать в виде:

$$\mathrm{tg}\frac{\vartheta}{2} = x - \frac{1}{x},$$

где $x = \frac{1}{2}\sqrt[3]{12M + 4\sqrt{9M^2 + 4}}$.

Расстояние от кометы до Солнца можно найти через уравнение параболы в полярных координатах:

$$r = \frac{2q}{1+\cos\vartheta}.$$

Расстояние от кометы до Земли $\Delta$ представим как модуль разности радиус-векторов кометы и Земли: $\Delta = |\vec{r} - \overrightarrow{r_\oplus}|$, где $\vec{r}$ – радиус-вектор кометы, $\overrightarrow{r_\oplus}$ – радиус-вектор Земли. Из уравнений орбитального движения мы получим координаты этих векторов в полярной СК ($r$, $\vartheta$), после чего преобразуем их в трехмерные декартовы координаты и с помощью матриц перехода приведем их к единой системе координат.

Поскольку орбита Земли представляет собой эллипс, для расчета ее орбитального движения нужно использовать уравнение Кеплера [5]. Оно имеет следующий вид:

$$M = E - e\sin E, \tag{4}$$

где $M = \sqrt{\frac{GM_\odot}{a^3}}(t - t_0)$ – средняя аномалия Земли;

$a$ – большая полуось земной орбиты (1 а. е.);

$e$ – эксцентриситет земной орбиты.

Величина $E$ называется эксцентрической аномалией и связана с истинной аномалией $\vartheta$ следующим соотношением:

$$\mathrm{tg}\frac{\vartheta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}\,\mathrm{tg}\frac{E}{2}.$$

Чтобы выразить модуль радиус-вектора, воспользуемся уравнением эллипса в полярных координатах:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\vartheta}.$$

Уравнение Кеплера не имеет аналитического решения, но его можно решить с помощью численных методов.

Теперь перейдем к практической части работы. В работе использовались оценки звёздной величины кометы из баз данных MPC и COBS [6]. Далее для каждой оценки, содержащей дату наблюдения и видимую звёздную величину кометы, составлялись и решались уравнения вида (3) и (4) и вычислялись значения $r$ и $\Delta$. После чего по формуле (1) вычислялось значение $m_1$ и наносилось на график, представленный на рисунке 1.

Представленный график можно аппроксимировать одной линейной функцией только в грубом приближении. Поэтому график был разбит на 3 участка, для каждого из которых с помощью метода наименьших квадратов, согласно формуле (1), вычислялись значения $H$ и $n$.

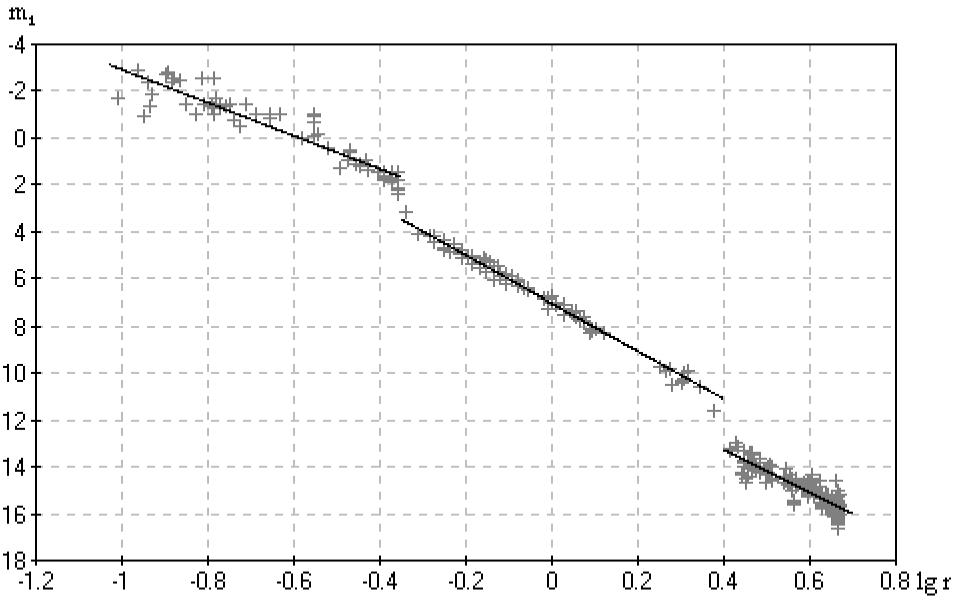


Рисунок 1 – График зависимости $m_1(\lg r)$

В результате были получены следующие формулы:

$$\begin{cases} m = (4{,}15 \pm 0{,}23) + (7{,}07 \pm 0{,}35)\lg r + 5\lg\Delta, \ r \in [0{,}094; 0{,}446) \\ m = (7{,}04 \pm 0{,}02) + (10{,}24 \pm 0{,}11)\lg r + 5\lg\Delta, r \in (0{,}446; 2{,}512) \\ m = (9{,}59 \pm 0{,}17) + (9{,}19 \pm 0{,}28)\lg r + 5\lg\Delta, \quad r \in (2{,}512; +\infty) \end{cases}$$

**Заключение.** Таким образом, в работе показано, что:
− видимая звёздная величина кометы с большой точностью описывается формулой (1);
− значения $H$ и $n$ могут изменяться скачкообразно в зависимости от $r$.

## Литература


1. Астрономия : учебное пособие / В. И. Шупляк [и др.]. – Минск : “Вышэйшая школа”, 2016. – 312 с.

2. Meisel, D. D. Comet Brightness Parameters: Definition, Determination, and Correlations / D. D. Meisel, C. S. Morris // International Astronomical Union Colloquium, Volume 25, Issue Part 1: The Study of Comets. − Cambridge, 1976. – P. 410–414.

3. MPEC 2025-A40: Observations and Orbits of Comets and A/ Objects [Electronic resource]. – Mode of access : https://www.minorplanetcenter.net/mpec/K25/K25A40.html. – Date of access : 03.01.2025.

4. Мирер, С. А. Механика космического полета. Орбитальное движение / С. А. Мирер. – М. : Московский физ.-тех. ин-т, 2013. – 106 с.

5. Балк, М. Б. Элементы динамики космического полета / М. Б. Балк. – Москва: Наука, 1965. – 340 с.
6. Observation list for C/2024 G3 [Electronic resource]. – Mode of access: https://cobs.si/obs_list?id=2525. – Date of access: 19.01.2025.